

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-330629

(43)Date of publication of application : 13.12.1996

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 07-317844

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 06.12.1995

(72)Inventor : MUKAI TAKASHI

(30)Priority

Priority number : 07 70989

Priority date : 29.03.1995

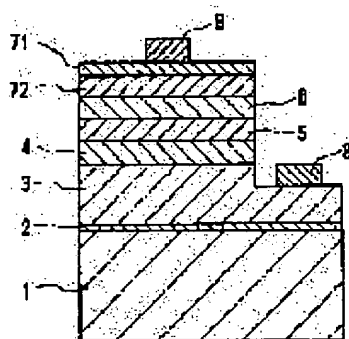
Priority country : JP

## (54) LIGHT-EMITTING NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain a light-emitting nitride semiconductor element which lowers a  $V_f$  (a forward voltage) by a method wherein a p-type layer forming a positive electrode is constituted of a heavily acceptor-doped first p-type layer and a lightly doped second p-type layer.

**CONSTITUTION:** A contact layer is constituted of a first p-type contact layer 71 in which a layer coming into contact with a positive electrode 9 is formed as a heavily acceptor-doped first nitride semiconductor layer and a second p-type contact layer 72 as a second nitride semiconductor layer acceptor-doped more lightly than the first p-type contact layer. The acceptor concentration of the first heavily doped p-type contact layer is adjusted to  $1 \times 10^{17}$  to  $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ . The acceptor concentration of the second lightly doped p-type contact layer 2 is adjusted to a range of  $2 \times 10^{15}$  to  $5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ . The contact layer 71, 72 form the positive electrode 9, and they are layers which can form desirable ohmic contacts with the positive electrode 9. The closer they are perfect ohmic contacts, the more the  $V_f$  of a light-emitting element can be lowered.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

09.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 06.06.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3250438

[Date of registration] 16.11.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2001-11773

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 06.07.2001

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] In the nitride semi-conductor light emitting device which has the barrier layer which emits light between n mold nitride semi-conductor layer and p mold nitride semi-conductor layer and which comes to form a positive electrode in p mold nitride semi-conductor layer front face Said p mold nitride semi-conductor layer is a nitride semi-conductor light emitting device characterized by including first p mold nitride semi-conductor layer with high acceptor impurity concentration, and second p mold nitride semi-conductor layer with acceptor impurity concentration lower than first p mold nitride semi-conductor layer sequentially from the side which touches a positive electrode.

[Claim 2] The nitride semi-conductor light emitting device according to claim 1 characterized by the thickness of said first p mold nitride semi-conductor layer being 0.1 micrometers or less.

[Claim 3] The nitride semi-conductor light emitting device according to claim 1 or 2 characterized by said positive electrode containing nickel and gold.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the light emitting device which consists of a nitride semi-conductor ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ) used for light emitting diode (LED), a laser diode (LD), etc., and relates to the nitride semi-conductor light emitting device of terrorism structure to the double which has a barrier layer especially between n mold nitride semi-conductor layer and p mold nitride semi-conductor layer.

[0002]

[Description of the Prior Art] The nitride semi-conductor ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ) is known as an ingredient of light emitting devices, such as LED, LD, etc. which emit light in ultraviolet - red. Using this semiconductor material, we announced blue LED with a luminous intensity of 1 cd in November, 1993, announced the bluish green color LED with a luminous intensity of 2 cds in April, 1994, and announced blue LED with a luminous intensity of 2 cds in October, 1994. All of such LED are produced commercially and practical use of a current display, a road signal, etc. is presented with it.

[0003] The structure of the luminescence chip of the conventional blue which becomes drawing 2 from a nitride semi-conductor, and the bluish green color LED is shown. It has terrorism structure to the double by which the laminating of the buffer layer 22 which consists of GaN on a substrate 21, n mold contact layer 23 which consists of an n mold GaN, n mold cladding layer 24 which consists of an n mold AlGaN, the barrier layer 25 which consists of an n mold InGaN, p mold cladding layer 26 which consists of a p mold AlGaN, and the p mold contact layer 27 which consists of a p mold GaN was fundamentally carried out to order. Acceptor impurity, such as donor impurities, such as Si and germanium, and/or Zn, Mg, is doped by the n mold InGaN of a barrier layer 25, the luminescence wavelength of an LED component is changing the class of impurity which changes In presentation ratio of InGaN of the barrier layer, or is doped to a barrier layer, and it is possible to make it change to ultraviolet - red. LED with a luminescence wavelength of 510nm or less on which a donor impurity and acceptor impurity were doped by current and the barrier layer at coincidence is put in practical use.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As for the conventional blue LED, forward voltage ( $V_f$ ) has the radiant power output of 20 times or more by forward current ( $I_f$ ) 20mA as compared with blue LED which 3.6V-3.8V, and a radiant power output become from those with about 3mW, and SiC. The thing with low forward voltage is because p-n junction is formed, and the thing with a high radiant power output is because terrorism structure is realized to double. Thus, although the engine performance of LED by which current utilization is carried out is very high, still more highly efficient LED and a light emitting device like LD are called for. For example, although  $V_f$  of LED has attained the low value of 3.6V-3.8V as mentioned above, in order to realize the small light emitting device of electrode width of face or an electrode surface product like LD, it is necessary to reduce  $V_f$  further.

[0005] Therefore, this invention is accomplished in view of such a situation, the place made into the purpose is to raise further the engine performance of the light emitting device which consists of a nitride

semi-conductor of terrorism structure to double, and it is in offering the component which was specifically excellent in luminous efficiency by reducing  $V_f$  of a light emitting device further.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In the nitride semi-conductor light emitting device which the light emitting device of this invention has the barrier layer which emits light between n mold nitride semi-conductor layer and p mold nitride semi-conductor layer, and comes to form a positive electrode in p mold nitride semi-conductor layer front face It is characterized by said p mold nitride semi-conductor layer containing first p mold nitride semi-conductor layer with high acceptor impurity concentration, and second p mold nitride semi-conductor layer with acceptor impurity concentration lower than first p mold nitride semi-conductor layer sequentially from the side which touches a positive electrode.

[0007] Furthermore in said light emitting device, 0.1 micrometers or less of 500A or less of thickness of first p mold nitride semi-conductor are most preferably adjusted to 200A or less still more preferably. If thicker than 0.1 micrometers, the crystal defect by the impurity will increase in the crystal itself, and it is in the inclination for  $V_f$  to become high conversely.

[0008]

[Function] The technique which uses p layers as p+ mold of high carrier concentration and p mold of low carrier concentration is indicated by JP,6-151964,A, JP,6-151965,A, JP,6-151966,A, etc. The light emitting device indicated by these official reports emits light by gay junction of GaN. For this reason, an n mold GaN layer is used as n mold of low carrier concentration, and n+ mold of high carrier concentration in the direction which keeps away from this junction interface on the basis of a p-n junction interface, and the p mold GaN is used as p mold of low carrier concentration, and p+ mold of high carrier concentration. And by combining n layers which consist of these two steps of carrier concentration, and p layers, improvement in luminescence brightness is aimed at as a light emitting device is long lasting.

[0009] On the other hand, the place where the light emitting device of this invention differs from said official report is a point which is using p type layer of the light emitting device of terrorism structure as second p type layer with low acceptor impurity concentration, and first p type layer with high acceptor impurity concentration to double. The light emitting device of terrorism structure has a high 10 or more time radiant power output to double as compared with the light emitting device of gay junction. Therefore, there is almost no increment in an output as for a combination of p+ mold and p mold about p type layer like said official report. By this invention, rather than a radiant power output,  $V_f$  of terrorism structure is reduced to double and it differs from a Prior art in that luminous efficiency is improved. Moreover, although carrier concentration is generally proportional to the concentration of acceptor impurity about acceptor impurity, after doping acceptor impurity in a semi-conductor layer in the case of a nitride semi-conductor, it acts as a perfect p mold by performing annealing above 400 degrees C. For this reason, hole carrier concentration was changed with an annealing condition, annealing temperature, etc. in many cases, and since it is difficult to measure the exact carrier concentration when considering as component structure, by this invention, the light emitting device has been characterized by acceptor impurity concentration.

[0010] Next, the light emitting devices of this invention differ at the point which has not been based on the p-n junction interface like before, and is using as second p type layer of low high impurity concentration the field which touches this positive electrode on the basis of the contact surface of a positive electrode in contact with that first p type layer as first p type layer of high high impurity concentration.  $V_f$  can be reduced by constituting p layers on the basis of the layer which touches a positive electrode.

[0011] The point that the light emitting device furthermore indicated by said official report differs from the light emitting device of this invention most is the thickness of p+ layer. That is, in said official report, if the thickness of the semi-conductor layer of p+ mold of high carrier concentration does not have 0.2 micrometers or more, the radiant power output of a light emitting device will decline, but in the light emitting device of this invention, if thickness of first p type layer of high high impurity concentration is set to 0.2 micrometers or more,  $V_f$  will become high. This is based on the crystalline

aggravation by the impurity dope. Conversely, as for the thickness of first p type layer of the high high impurity concentration in the light emitting device of this invention, it is desirable that it is 0.1 micrometers or less. By being referred to as 0.1 micrometers or less, it is possible to reduce  $V_f$  of a light emitting device effectively.

[0012]

[Example]

The light emitting device of this invention is explained in full detail below the [example 1] based on a drawing. Drawing 1 is the type section Fig. showing the structure of the light emitting device of one example of this invention. This light emitting device shows the structure which carried out the laminating of a buffer layer 2, n mold contact layer 3, n mold cladding layer 4, a barrier layer 5, p mold cladding layer 6, second p mold contact layer 72 with low acceptor impurity concentration, and the first p mold contact layer 71 with high acceptor impurity concentration to order on the substrate 1.

Furthermore a positive electrode 9 is formed in first p mold contact layer 71, and the negative electrode 8 is formed in n mold contact layer 3.

[0013] The substrate of the nitride semi-conductor and grid mismatching like SiC (6H and 4H are included), ZnO and Si besides sapphire (the Ath page, C side, and the Rth page are included), and GaAs, a substrate with near nitride semi-conductor which consists of an oxide single crystal like NGO (neodmium gallium oxide) and lattice constant, etc. can be used for a substrate 1.

[0014] As for a buffer layer 2, it is desirable to grow up GaN, AlN, GaAlN, etc. by 50Å - 0.1 micrometers thickness, for example, according to the MOVPE method, it can be formed by making it grow up at 400 degrees C - 600 degrees C low temperature. In order that a buffer layer 2 may ease the grid mismatching of a substrate 1 and a nitride semi-conductor, it is prepared, but a buffer layer may not be formed in case the substrate which carried out lattice matching to a nitride semi-conductor like SiC and ZnO, and a substrate with a near lattice constant and a nitride semi-conductor is used.

[0015] n mold contact layer 3 is a layer which forms the negative electrode 8, it is desirable to grow up GaN, AlGaIn, InAlGaIn, etc. by 1 micrometer - 10 micrometers thickness, and the ingredient of the negative electrode and desirable ohmic contact can be acquired by choosing GaN also in it. As an ingredient of the negative electrode 8, Ti, aluminum, Ti, Au, etc. can be used preferably.

[0016] As for n mold cladding layer 4, it is desirable to grow up GaN, AlGaIn, InAlGaIn, etc. by 500Å - 0.5 micrometers thickness, and a crystalline good layer is obtained by choosing GaN and AlGaIn also in it. Moreover, it is also possible to omit n mold cladding layer 4 or n mold contact layer 3. If either is omitted, the layer which remained will act as n mold cladding layer and an n mold contact layer.

[0017] As for a barrier layer 5, it is more desirable than a cladding layer that bandgap energy sets the presentation ratio of an indium to InGaIn changed suitably by the desired band gap especially that what is necessary is just nitride semi-conductors, such as small InGaIn, InAlGaIn, and AlGaIn. Moreover, it is good also as multiplex quantum well structure which carried out the laminating of each thin film for the barrier layer 5 in combination, such as InGaIn/GaN and InGaIn/InGaIn (presentations differ). single quantum well structure and multiplex quantum well structure -- which barrier layer -- also setting -- a barrier layer -- n mold and p mold -- although any are sufficient, it is desirable, especially when luminescence between bands with narrow half-value width, exciton luminescence, or quantum well level luminescence is obtained and an LED component and LD component are realized by considering especially as a non dope (additive-free). If a barrier layer is made into single quantum well (SQW:single quantum well) structure or multiplex quantum well (MQW:multiquantum well) structure, a light emitting device with a very high output will be obtained. It is the layer which pointed out the structure of a barrier layer where luminescence between the quantum level by InGaIn of a non dope was obtained, in SQW and MQW, for example, constituted the barrier layer from  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x < 1$ ) of a single presentation at SQW, and strong luminescence between quantum level is obtained by making still more preferably 100Å or less of thickness of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  into 70Å or less. Moreover, MQW is taken as the multilayers which carried out two or more laminatings of the thin film of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $x = 0$  and  $x = 1$  are included in this case) with which presentation ratios differ. Thus, luminescence to about 365nm - 660nm is obtained by luminescence between quantum level by setting a barrier layer to SQW and

MQW. As thickness of the well layer of quantum structure, 70Å or less is desirable as mentioned above. Multiplex quantum well structure constitutes a well layer from  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , and, as for a barrier layer, it is desirable to constitute by  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  (for  $y = 0$  to be included in  $y < x$  and this case) similarly. Since it can grow up at the same temperature if a well layer and a barrier layer are especially formed by  $\text{InGaN}$  preferably, a crystalline good barrier layer is obtained. If 150Å or less of thickness of a barrier layer is made into 120Å or less still more preferably, a high power light emitting device will be obtained. Moreover, a donor impurity and/or acceptor impurity may be doped to a barrier layer 5. If the crystallinity of the barrier layer which doped the impurity is the same as a non dope, and a donor impurity is doped, compared with the thing of a non dope, bands luminescence reinforcement can be strengthened further. Although peak wavelength can be brought to about 0.5eV low energy side rather than the peak wavelength of luminescence between bands if acceptor impurity is doped, half-value width becomes large. If acceptor impurity and a donor impurity are doped to coincidence, luminescence reinforcement of the barrier layer which doped only acceptor impurity can be enlarged further. When realizing the barrier layer which doped especially acceptor impurity, as for the conductivity type of a barrier layer, it is desirable to dope donor impurities, such as Si, to coincidence and to consider as n mold. A barrier layer 5 can be grown up by several angstroms - 0.5 micrometers thickness. However, when making thin thickness of the nitride semi-conductor layer which constitutes a barrier layer by making a barrier layer into single quantum well structure or multiplex quantum well structure, it is desirable to form second n mold cladding layer 40 which consists of a nitride semi-conductor of n mold containing In between n mold cladding layer 4 and a barrier layer 5.

[0018] As for p mold cladding layer 6, it is desirable to grow up GaN, AlGa<sub>N</sub>, InAlGa<sub>N</sub>, etc. by 500Å - 0.5 micrometers thickness, and a crystalline good layer is obtained by choosing GaN and AlGa<sub>N</sub> also in it. In addition, it is also possible to omit this p mold cladding layer 6.

[0019] Next, the contact layers 71 and 72 which are the descriptions of this invention are described. A positive electrode 9 is formed, these contact layers 71 and 72 are layers which acquire a positive electrode 9 and desirable ohmic contact, and the more they are close to perfect OMIKKU, the more they can reduce  $V_f$  of a light emitting device. Therefore, this contact layer consists of the first p mold contact layer 71 which is the first nitride semi-conductor layer with high acceptor impurity concentration, and the second p mold contact layer 72 which is the second nitride semi-conductor with acceptor impurity concentration lower than that first p mold contact layer in the layer which touches a positive electrode 9.

[0020] As for first p mold contact layer 71 and second p mold contact layer 72, it can be desirable to form with the nitride semi-conductor of the same presentation, for example, GaN, AlGa<sub>N</sub>, InAlGa<sub>N</sub>, etc. can be grown up. The ingredient of a positive electrode 9 and desirable ohmic contact can be acquired by choosing GaN also in it.

[0021] As for the acceptor impurity concentration of first high-concentration p mold contact layer 71, it is desirable to adjust to  $1 \times 10^{17}$  to  $5 \times 10^{21}$  /cm<sup>3</sup>. It is in the inclination for the crystallinity of a nitride semi-conductor to worsen with an impurity if it is difficult to acquire an electrode and ohmic contact if lower than  $1 \times 10^{17}$  /cm<sup>3</sup> and it is higher than  $5 \times 10^{21}$  /cm<sup>3</sup>, and for  $V_f$  to become high.

[0022] On the other hand, as for the acceptor impurity concentration of second low-concentration p mold contact layer 72, it is desirable to adjust to the range of  $2 \times 10^{15}$  to  $5 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>. If lower than  $2 \times 10^{15}$  /cm<sup>3</sup>, since the resistance as a p mold will become high, it is in the inclination for  $V_f$  to become high. If higher than  $5 \times 10^{20}$  /cm<sup>3</sup>, it will be hard to balance first high-concentration p mold contact layer 71, and it is in the inclination it becomes impossible to desire improvement in  $V_f$  not much.

[0023] Although the contact layers 71 and 72 which the concentration of the acceptor impurity doped to a nitride semi-conductor was changed, or doped acceptor impurity can be adjusted by carrying out annealing above 400 degrees C as the hole carrier concentration of the contact layers 71 and 72 was described above, it is difficult to measure an exact value. As a near value, by performing annealing 400 degrees C or more by said acceptor impurity concentration, first p mold contact layer 71 of about  $1 \times 10^{16}$  to  $5 \times 10^{19}$  /of hole carrier concentration cm<sup>3</sup> is obtained, and, similarly second p mold contact layer 72 of about  $1 \times 10^{15}$  to  $1 \times 10^{19}$  /of hole carrier concentration cm<sup>3</sup> is obtained.

[0024] The metal which contains nickel and Au as an ingredient of the positive electrode 9 with which first p mold contact layer 71 and desirable OMIKKU are obtained can be used. The positive electrode containing nickel and Au can obtain especially the p mold GaN and desirable OMIKKU.

[0025] The light emitting device of this invention is obtained using vapor growth, such as MOVPE (metal-organic chemical vapor deposition), MBE (molecular-beam vapor growth), and HDVPE (hydride vapor growth), by carrying out the laminating of  $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  ( $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ) with conductivity types, such as n mold and p mold, on a substrate. Although the nitride semi-conductor of n mold is obtained also in the state of a non dope, it is obtained by introducing donor impurities, such as Si, germanium, and S, into a semi-conductor layer into crystal growth.

[0026] On the other hand, although the nitride semi-conductor layer of p mold is obtained by similarly introducing acceptor impurity, such as Mg, Zn, Cd, calcium, Be, and C, into a semi-conductor layer into crystal growth, as stated above, still more desirable p mold is obtained by performing annealing above 400 degrees C after acceptor impurity installation.

[0027] Next, the light emitting device of drawing 1 is described concretely. The following examples show the growth approach by the MOVPE method.

[0028] First, the buffer layer 2 which becomes C side of the silicon on sapphire 1 set to the reaction container from GaN at 500 degrees C is grown up by 500Å thickness using TMG (trimethylgallium) and  $\text{NH}_3$ .

[0029] Next, temperature is raised to 1050 degrees C and TMG and n mold contact layer 23 which consists of an Si dope n mold GaN using silane gas in addition to  $\text{NH}_3$  are grown up by 4-micrometer thickness.

[0030] Then, TMA (trimethylaluminum) is added to material gas and n mold cladding layer 4 which similarly consists of an Si dope n mold aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N layer at 1050 degrees C is grown up by 0.1-micrometer thickness.

[0031] Next, temperature is lowered to 800 degrees C and the barrier layer 5 which consists of Si+Zn dope n mold  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  is grown up by 0.1-micrometer thickness using TMG, TMI (trimethylindium),  $\text{NH}_3$ , silane gas, and DEZ (diethyl zinc).

[0032] Next, temperature is raised to 1050 degrees C and p mold cladding layer 6 which consists of Mg dope p mold aluminum<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N is grown up by 0.1-micrometer thickness using TMG, TMA,  $\text{NH}_3$ , and  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (magnesium cyclopentadienyl).

[0033] Next, second p mold contact layer 72 which consists of a Mg dope p mold GaN using TMG,  $\text{NH}_3$ , and  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  at 1050 degrees C is grown up by 0.5-micrometer thickness. In addition, Mg concentration of this second p mold contact layer was  $1 \times 10^{18} \text{--}/\text{cm}^3$ .

[0034] Then, the flow rate of  $\text{Cp}_2\text{Mg}$  is made [ many ] at 1050 degrees C, and first p mold contact layer 71 which consists of a Mg dope p mold GaN is grown up by 200Å thickness. In addition, Mg concentration of this first p mold contact layer 71 was  $2 \times 10^{19} \text{--}/\text{cm}^3$ .

[0035] After reaction termination, temperature is lowered to a room temperature, a wafer is picked out from a reaction container, annealing of a wafer is performed at 700 degrees C, and p type layer is further formed into low resistance. Next, the mask of a predetermined configuration is formed in the front face of p mold contact layer 7 of the maximum upper layer, and it etches until the front face of n mold contact layer 3 is exposed. The negative electrode 8 which becomes the front face of n mold contact layer 3 from Ti and aluminum, and the positive electrode 9 which becomes the front face of first p mold contact layer 71 from nickel and Au are formed after etching. After electrode formation, after dividing a wafer into the chip of 350-micrometer angle, it considered as the LED component. This LED component was  $\text{If} 20\text{mA}$ , with  $\text{Vf} 3.1\text{V}$ , 450nm of emission peak wavelengths, and a half-value width [ of 70nm ] blue luminescence was shown, and the radiant power output was 3mW.

[0036] When thickness of first p mold contact layer 71 was made into 500Å in the [example 2] example 1 and also the light emitting device was obtained similarly, in  $\text{If} 20\text{mA}$ ,  $\text{Vf} 3.2\text{V}$  and a radiant power output were almost the same.

[0037] When thickness of first p mold contact layer 71 was set to 0.1 micrometers in the [example 3] example 1 and also the light emitting device was obtained similarly, in  $\text{If} 20\text{mA}$ ,  $\text{Vf(s)}$  were 3.3V and



2.9mW of radiant power outputs.

[0038] When thickness of first p mold contact layer 71 was set to 0.3 micrometers in the [example 4] example 1 and also the light emitting device was obtained similarly,  $V_f$  was set to 3.7V in  $I_{f20mA}$ , and the radiant power output was 2.8mW.

[0039] In the [example 5] example 1, when set Mg concentration of second p mold contact layer 72 to  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ , and Mg concentration of first p mold contact layer 71 was set to  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  and also the LED component was obtained similarly, the almost same property as an example 1 was shown.

[0040] [Example 6] drawing 3 is the typical sectional view showing the structure of the light emitting device concerning an example 5. The place where this light emitting device differs from the light emitting device of drawing 1 is just going to form second n mold cladding layer 40 which consists of a nitride semi-conductor of n mold which contains In as a new buffer layer between n mold cladding layer 4 and a barrier layer 5. If it is desirable to form by thickness (10Å or more and 0.1 micrometers or less) and it makes thickness of second n mold cladding layer 40 and a barrier layer 5 300Å or more further, first n mold cladding layer 40 containing In and the barrier layer 5 containing In act as a buffer layer, a crack does not go into n mold cladding layer 4 and p mold cladding layer 6, but this second cladding layer 40 can grow up to be them with sufficient crystallinity. Furthermore, by growing up this second n mold cladding layer 40, the barrier layer of the quantum structure which does not dope an impurity is realizable, half-value width is narrow and high luminescence of an output can be obtained. In addition, GaN is sufficient as this second n mold cladding layer 40.

[0041] This second n mold cladding layer 40 acts as a buffer layer between n mold cladding layers 4 containing a barrier layer 5, and aluminum and Ga. that is, the lattice constant of the n mold cladding layer 4 and the barrier layer 5 which contain aluminum and Ga since second n mold cladding layer 40 containing In and Ga has the property soft as a property of a crystal -- there is work which absorbs distortion produced according to a coefficient-of-thermal-expansion difference as it is irregular. Therefore, since a crack does not go into a barrier layer 5 and n mold cladding layer 4 even if it makes thin thickness of the nitride semi-conductor layer which constitutes a barrier layer for a barrier layer as single quantum well structure or multiplex quantum well structure, a barrier layer deforms elastically and the crystal defect of a barrier layer decreases. That is, by having made the barrier layer into quantum well structure, since the crystallinity of a barrier layer becomes good, a radiant power output increases. Furthermore, if a barrier layer is made into quantum well structure, a radiant power output will increase according to the quantum effectiveness and the exciton effectiveness. In other words, by the conventional light emitting device, it had prevented that a crack went into a cladding layer and a barrier layer by thickening thickness of a barrier layer with 1000Å or more. However, since distortion by the coefficient-of-thermal-expansion difference and the stacking fault has always started the barrier layer and the thickness of a barrier layer is over deformable critical thickness elastically in the conventional light emitting device, it cannot deform elastically, but many crystal defects are produced in a barrier layer, and it seldom shines in luminescence between bands. By forming this second n mold cladding layer 40, a barrier layer is able to raise the radiant power output of a light emitting device by leaps and bounds in the condition of quantum structure.

[0042] After growing up n mold cladding layer 4 in an example 1, temperature is lowered to 800 degrees C and, specifically, second n mold cladding layer 40 which consists of Si dope n mold  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  is grown up by 500Å thickness using TMG, TMI (trimethylindium),  $\text{NH}_3$ , and silane gas.

[0043] Then, the barrier layer 5 which consists of non dope n mold  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  at 800 degrees C using TMG, TMI, and  $\text{NH}_3$  is grown up by 80Å thickness. When the rest grew up p mold cladding layer 6, second p mold contact layer 72, and first p mold contact layer 71 and was used as the LED component like the example 1, this LED component showed blue luminescence of  $V_f 3.1\text{V}$  and 400nm of emission peak wavelengths by  $I_{f20mA}$ , and the radiant power output was 12mW. Furthermore, the half-value width of an emission spectrum is 20nm, and showed luminescence with very sufficient color purity.

[0044] In the [example 7] example 6, the barrier layer which becomes 25Å from non dope  $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  about the well layer which consists the presentation of a barrier layer 5 of non dope

In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N is grown up by 50Å thickness. This actuation was repeated 26 times, the laminating of the well layer was carried out to the last, and the barrier layer 6 with a total thickness of about 2000Å was grown up. When the rest was used as the LED component like the example 6, this LED component also showed blue luminescence of  $V_f$  3.1V and 400nm of emission peak wavelengths by  $I_f$  20mA, and the radiant power output was 12mW. Furthermore, the half-value width of an emission spectrum is 20nm, and showed luminescence with very sufficient color purity.

[0045]

[Effect of the Invention] As explained above, since the light emitting device of this invention can reduce  $V_f$ , its luminous efficiency improves by using as first p type layer of high acceptor impurity concentration, and second p type layer of low high impurity concentration p type layer which forms a positive electrode in double in the light emitting device of terrorism structure. Therefore, when the large-sized display and outdoor advertising plate using LED etc. is realized in large quantities, a device with little power consumption can be realized, and the utility value on the industry is large.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The type section Fig. showing the structure of the light emitting device concerning one example of this invention.

[Drawing 2] The type section Fig. showing the structure of the conventional light emitting device.

[Drawing 3] The type section Fig. showing the structure of the light emitting device concerning other examples of this invention.

[Description of Notations]

- 1 .... Substrate
- 2 .... Buffer layer
- 3 .... n mold contact layer
- 4 .... n mold cladding layer
- 5 .... Barrier layer
- 6 .... p mold cladding layer
- 72 .... Second p mold contact layer
- 71 .... First p mold contact layer
- 8 .... Negative electrode
- 9 .... Positive electrode

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-330629

(43) 公開日 平成8年(1996)12月13日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平7-317844

(22) 出願日 平成7年(1995)12月6日

(31) 優先権主張番号 特願平7-70989

(32) 優先日 平7(1995)3月29日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 向井 孝志

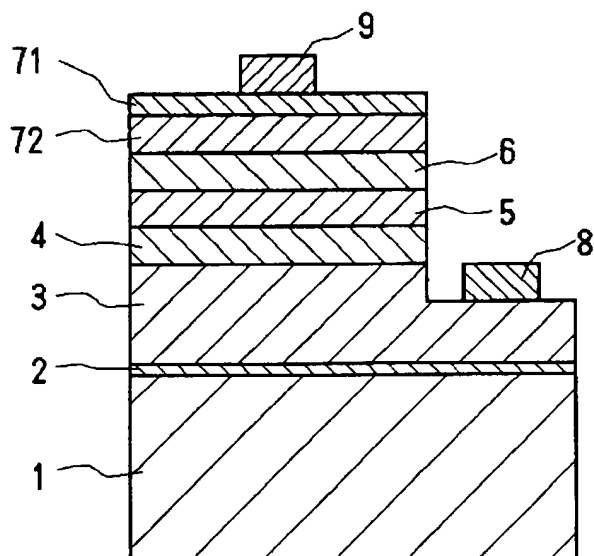
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 ダブルヘテロ構造の窒化物半導体発光素子の V f をさらに低下させることにより発光効率に優れた素子を提供する。

【構成】 n型窒化物半導体層と p 型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p 型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記 p 型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一の p 型窒化物半導体層と、第一の p 型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二の p 型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記p型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一のp型窒化物半導体層と、第一のp型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二のp型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記第一のp型窒化物半導体層の膜厚が0.1 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記正電極がニッケルおよび金を含むことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の窒化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等に使用される窒化物半導体(In<sub>a</sub>Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-a-b</sub>N、0 $\leq$ a、0 $\leq$ b、a+b $\leq$ 1)よりなる発光素子に係り、特にn型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に活性層を有するダブルヘテロ構造の窒化物半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】紫外～赤色に発光するLED、LD等の発光素子の材料として窒化物半導体(In<sub>a</sub>Al<sub>b</sub>Ga<sub>1-a-b</sub>N、0 $\leq$ a、0 $\leq$ b、a+b $\leq$ 1)が知られている。我々はこの半導体材料を用いて、1993年11月に光度1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cdの青色LEDを発表した。これらのLEDは全て製品化されて、現在ディスプレイ、道路信号等の実用に供されている。

【0003】図2に窒化物半導体よりなる従来の青色、青緑色LEDの発光チップの構造を示す。基本的には、基板21の上に、GaNよりなるバッファ層22、n型GaNよりなるn型コンタクト層23と、n型AlGaNよりなるn型クラッド層24と、n型InGaNよりなる活性層25と、p型AlGaNよりなるp型クラッド層26と、p型GaNよりなるp型コンタクト層27とが順に積層されたダブルヘテロ構造を有している。活性層25のn型InGaNにはSi、Ge等のドナー不純物および／またはZn、Mg等のアクセプター不純物がドーピングされており、LED素子の発光波長は、その活性層のInGaNのIn組成比を変更するか、若しくは活性層にドーピングする不純物の種類を変更することで、紫外～赤色まで変化させることが可能となっている。現在、活性層にドナー不純物とアクセプター不純物とが同時にドーピングされた発光波長510nm以下のLEDが実用化されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の青色LEDは順方向電流(I<sub>f</sub>)20mAで順方向電圧(V<sub>f</sub>)が3.6V～3.8V、発光出力は3mW近くあり、SiCよりなる青色LEDと比較して20倍以上の発光出力を有している。順方向電圧が低いのはp-n接合を形成しているためであり、発光出力が高いのはダブルヘテロ構造を実現しているためである。このように、現在実用化されているLEDは非常に性能の高いものであるが、さらに高性能なLED、LDのような発光素子が求められている。例えばLEDのV<sub>f</sub>は前記のように3.6V～3.8Vという低い値を達成しているが、LDのように電極幅や電極面積の小さい発光素子を実現するためには、さらにV<sub>f</sub>を低下させる必要がある。

【0005】従って、本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであり、その目的とするところは、ダブルヘテロ構造の窒化物半導体よりなる発光素子の性能をさらに向上させることにあり、具体的には、発光素子のV<sub>f</sub>をさらに低下させることにより発光効率に優れた素子を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の発光素子は、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に発光する活性層を有し、p型窒化物半導体層表面に正電極が形成されてなる窒化物半導体発光素子において、前記p型窒化物半導体層は正電極と接する側から順にアクセプター不純物濃度の高い第一のp型窒化物半導体層と、第一のp型窒化物半導体層よりもアクセプター不純物濃度の低い第二のp型窒化物半導体層とを含むことを特徴とする。

【0007】さらに前記発光素子において、第一のp型窒化物半導体の膜厚は0.1 $\mu$ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整する。0.1 $\mu$ mよりも厚いと結晶自体に不純物による結晶欠陥が多くなり、逆にV<sub>f</sub>が高くなる傾向にある。

## 【0008】

【作用】p層を高キャリア濃度のp<sup>+</sup>型と低キャリア濃度のp型とする技術が特開平6-151964号、特開平6-151965号、特開平6-151966号等に記載されている。これらの公報に開示される発光素子はGaNのホモ接合により発光する。このためp-n接合界面を基準として、この接合界面より遠ざかる方向にn型GaN層を低キャリア濃度のn型と高キャリア濃度のn<sup>+</sup>型とし、p型GaNを低キャリア濃度のp型と、高キャリア濃度のp<sup>+</sup>型としている。そしてこれら二段のキャリア濃度よりなるn層とp層とを組み合わせることにより、発光素子の長寿命と発光輝度の向上を図っている。

【0009】一方、本発明の発光素子が前記公報と異な

るところは、ダブルヘテロ構造の発光素子のp型層をアクセプター不純物濃度の低い第二のp型層と、アクセプター不純物濃度の高い第一のp型層とにしている点である。ダブルヘテロ構造の発光素子はホモ接合の発光素子に比較して10倍以上発光出力が高い。従って、前記公報のようにp型層をp<sup>+</sup>型とp型との組み合わせにしても、出力の増加はほとんどない。むしろ本発明では発光出力よりも、ダブルヘテロ構造のV<sub>f</sub>を低下させ、発光効率を改善している点が従来の技術と異なる。また、アクセプター不純物に関して、一般にキャリア濃度はアクセプター不純物の濃度とおおよそ比例しているが、窒化物半導体の場合、半導体層にアクセプター不純物をドーブした後、400℃以上でアニーリングを行うことにより完全なp型として作用する。このためホールキャリア濃度はアニーリング状態、アニール温度等により変動することが多く、素子構造とした時の正確なキャリア濃度を測定することは困難であるので、本発明ではアクセプター不純物濃度で発光素子の特徴づけている。

【0010】次に、本発明の発光素子は従来のようにp-n接合界面を基準としているのではなく、正電極の接触面を基準とし、この正電極と接する面を高不純物濃度の第一のp型層として、その第一のp型層に接して低不純物濃度の第二のp型層としている点で異なる。正電極に接する層を基準としてp層を構成することにより、V<sub>f</sub>を低下させることができる。

【0011】さらに前記公報に開示される発光素子と、本発明の発光素子とが最も異なる点はp<sup>+</sup>層の膜厚である。つまり、前記公報では高キャリア濃度のp<sup>+</sup>型の半導体層の膜厚が0.2μm以上なければ発光素子の発光出力が低下するが、本発明の発光素子では高不純物濃度の第一のp型層の膜厚を0.2μm以上にすると、V<sub>f</sub>が高くなる。これは不純物ドーブによる結晶性の悪化によるものである。逆に本発明の発光素子では高不純物濃度の第一のp型層の膜厚は0.1μm以下であることが好ましい。0.1μm以下とすることにより、効果的に発光素子のV<sub>f</sub>を低下させることが可能である。

【0012】

【実施例】

【実施例1】以下、図面を元に本発明の発光素子を詳説する。図1は本発明の一実施例の発光素子の構造を示す模式断面図である。この発光素子は基板1の上にバッファ層2、n型コンタクト層3、n型クラッド層4、活性層5、p型クラッド層6、アクセプター不純物濃度の低い第二のp型コンタクト層7<sub>2</sub>、アクセプター不純物濃度の高い第一のp型コンタクト層7<sub>1</sub>を順に積層した構造を示している。さらに第一のp型コンタクト層7<sub>1</sub>には正電極9が形成され、n型コンタクト層3には負電極8が形成されている。

【0013】基板1にはサファイア(A面、C面、R面を含む)の他、SiC(6H、4Hを含む)、ZnO、

Si、GaAsのような窒化物半導体と格子不整合の基板、またNGO(ネオジウムガリウム酸化物)のような酸化物単結晶よりなる窒化物半導体と格子定数の近い基板等を使用することができる。

【0014】バッファ層2はGaN、AlN、GaAlN等を例えば500Åストローム〜0.1μmの膜厚で成長させることが好ましく、例えばMOVPE法によると400℃〜600℃の低温で成長させることにより形成できる。バッファ層2は基板1と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられるが、SiC、ZnOのような窒化物半導体と格子定数が近い基板、窒化物半導体と格子整合した基板を使用する際にはバッファ層が形成されないこともある。

【0015】n型コンタクト層3は負電極8を形成する層であり、GaN、AlGaN、InAlGaN等を例えば1μm〜10μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGaNを選択することにより負電極の材料と好ましいオーミック接触を得ることができる。負電極8の材料としては例えばTiとAl、TiとAu等を好ましく用いることができる。

【0016】n型クラッド層4はGaN、AlGaN、InAlGaN等を例えば500Åストローム〜0.5μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGaN、AlGaNを選択することにより結晶性の良い層が得られる。また、n型クラッド層4、n型コンタクト層3のいずれかを省略することも可能である。どちらかを省略すると、残った層がn型クラッド層およびn型コンタクト層として作用する。

【0017】活性層5はクラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さいInGaN、InAlGaN、AlGaN等の窒化物半導体であれば良く、特に所望のバンドギャップによってインジウムの組成比を適宜変更したInGaNにすることが好ましい。また活性層5を例えばInGaN/GaN、InGaN/InGaN(組成が異なる)等の組み合わせで、それぞれの薄膜を積層した多重量子井戸構造としてもよい。単一量子井戸構造、多重量子井戸構造いずれの活性層においても、活性層はn型、p型いずれでもよいが、特にノンドーブ(無添加)とすることにより半値幅の狭いバンド間発光、励起子発光、あるいは量子井戸準位発光が得られ、LED素子、LD素子を実現する上で特に好ましい。活性層を単一量子井戸(SQW:single quantum well)構造若しくは多重量子井戸(MQW:multiquantum well)構造とすると非常に出力の高い発光素子が得られる。SQW、MQWとはノンドーブのInGaNによる量子準位間の発光が得られる活性層の構造を指し、例えばSQWでは活性層を単一組成のIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0≤x<1)で構成した層であり、In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nの膜厚を100Åストローム以下、さらに好ましくは70Åストローム以下とすることにより量子準位間の強い発光が得

られる。またMQWは組成比の異なる  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (この場合  $x=0$ 、 $x=1$  を含む) の薄膜を複数積層した多層膜とする。このように活性層をSQW、MQWとすることにより量子準位間発光で、約365nm~660nmまでの発光が得られる。量子構造の井戸層の厚さとしては、前記のように70オングストローム以下が好ましい。多重量子井戸構造では井戸層は  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  で構成し、障壁層は同じく  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $y < x$ 、この場合  $y=0$  を含む) で構成することが望ましい。特に好ましくは井戸層と障壁層を  $\text{InGaN}$  で形成すると同一温度で成長できるので結晶性のよい活性層が得られる。障壁層の膜厚は150オングストローム以下、さらに好ましくは120オングストローム以下にすると高出力な発光素子が得られる。また、活性層5にドナー不純物および/またはアクセプター不純物をドーピングしてもよい。不純物をドーピングした活性層の結晶性がノンドープと同じであれば、ドナー不純物をドーピングするとノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。アクセプター不純物をドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5eV低エネルギー側にピーク波長を持っていくことができるが、半値幅は広がる。アクセプター不純物とドナー不純物を同時にドーピングすると、アクセプター不純物のみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にアクセプター不純物をドーピングした活性層を実現する場合、活性層の導電型はSi等のドナー不純物を同時にドーピングしてn型とすることが好ましい。活性層5は例えば数オングストローム~0.5μmの膜厚で成長させることができる。但し、活性層を単一量子井戸構造若しくは多重量子井戸構造として、活性層を構成する窒化物半導体層の膜厚を薄くするときはn型クラッド層4と活性層5との間にInを含むn型の窒化物半導体よりなる第二のn型クラッド層40を形成することが望ましい。

【0018】p型クラッド層6はGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaN、In<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaN等を例えば500オングストローム~0.5μmの膜厚で成長させることが好ましく、その中でもGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaNを選択することにより結晶性の良い層が得られる。なおこのp型クラッド層6を省略することも可能である。

【0019】次に、本発明の特徴であるコンタクト層71、72について述べる。このコンタクト層71、72は正電極9を形成して、正電極9と好ましいオーミック接触を得る層であり完全なオーミックに近ければ近いほど、発光素子のV<sub>f</sub>を低下させることができる。そのため、このコンタクト層は、正電極9に接する層をアクセプター不純物濃度が高い第一の窒化物半導体層である第一のp型コンタクト層71と、その第一のp型コンタクト層よりもアクセプター不純物濃度が低い第二の窒化物半導体である第二のp型コンタクト層72とで構成されている。

【0020】第一のp型コンタクト層71、および第二のp型コンタクト層72は同一組成の窒化物半導体で形成することが望ましく、例えばGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaN、In<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaN等を成長させることができる。その中でもGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaNを選択することにより正電極9の材料と好ましいオーミック接触を得ることができる。

【0021】高濃度の第一のp型コンタクト層71のアクセプター不純物濃度は  $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$  に調整することが望ましい。  $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  よりも低いと、電極とオーミック接触を得ることが難しく、  $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$  よりも高いと不純物により窒化物半導体の結晶性が悪くなり、V<sub>f</sub>が高くなる傾向にある。

【0022】一方、低濃度の第二のp型コンタクト層72のアクセプター不純物濃度は  $2 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  の範囲に調整することが望ましい。  $2 \times 10^{15} / \text{cm}^3$  よりも低いと、p型としての抵抗が高くなるのでV<sub>f</sub>が高くなる傾向にある。  $5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  よりも高いと高濃度の第一のp型コンタクト層71とのバランスが取りにくく、V<sub>f</sub>の向上があまり望めなくなる傾向にある。

【0023】コンタクト層71、72のホールキャリア濃度は前にも述べたように、窒化物半導体にドーピングするアクセプター不純物の濃度を変化させるか、あるいはアクセプター不純物をドーピングしたコンタクト層71、72を、400℃以上でアニーリングすることにより調整できるが、正確な値を測定することは困難である。おおよそその値としては、前記アクセプター不純物濃度で400℃以上のアニールを行うことにより、例えばホールキャリア濃度およそ  $1 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  の第一のp型コンタクト層71が得られ、同じくホールキャリア濃度およそ  $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  の第二のp型コンタクト層72が得られる。

【0024】第一のp型コンタクト層71と好ましいオーミックが得られる正電極9の材料としてはNiおよびAuを含む金属を用いることができる。NiおよびAuを含む正電極は特にp型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>GaNと好ましいオーミックを得ることができる。

【0025】本発明の発光素子は例えばMOVPE(有機金属気相成長法)、MBE(分子線気相成長法)、HDVPE(ハイドライド気相成長法)等の気相成長法を用いて、基板上に  $\text{In}_{1-a}\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  ( $0 \leq a, 0 \leq b, a+b \leq 1$ ) をn型、p型等の導電型で積層することによって得られる。n型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、Si、Ge、S等のドナー不純物を結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。

【0026】一方、p型の窒化物半導体層はMg、Zn、Cd、Ca、Be、C等のアクセプター不純物を同じく結晶成長中に半導体層中に導入することにより得られるが、前にも述べたように、アクセプター不純物導入

後400℃以上でアニーリングを行うことにより、さらに好ましいp型が得られる。

【0027】次に図1の発光素子を具体的に述べる。以下の実施例はMOVPE法による成長方法を示している。

【0028】まず、TMG（トリメチルガリウム）とNH<sub>3</sub>とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板1のC面に500℃でGa<sub>0.3</sub>Nよりなるバッファ層2を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0029】次に温度を1050℃まで上げ、TMG、NH<sub>3</sub>に加えシランガスをを用い、Siドープn型Ga<sub>0.3</sub>Nよりなるn型コンタクト層23を4μmの膜厚で成長させる。

【0030】続いて原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）を加え、同じく1050℃でSiドープn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層よりなるn型クラッド層4を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0031】次に温度を800℃に下げ、TMG、TM（トリメチルインジウム）、NH<sub>3</sub>、シランガス、DEZ（ジエチルジシラン）を用い、Si+Znドープn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる活性層5を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0032】次に温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、NH<sub>3</sub>、Cp2Mg（シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgドープp型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp型クラッド層6を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0033】次に1050℃でTMG、NH<sub>3</sub>、Cp2Mgを用い、Mgドープp型Ga<sub>0.3</sub>Nよりなる第二のp型コンタクト層72を0.5μmの膜厚で成長させる。なおこの第二のp型コンタクト層のMg濃度は1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>であった。

【0034】続いて1050℃でCp2Mgの流量を多くして、Mgドープp型Ga<sub>0.3</sub>Nよりなる第一のp型コンタクト層71を200オングストロームの膜厚で成長させる。なおこの第一のp型コンタクト層71のMg濃度は2×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>であった。

【0035】反応終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700℃でウェーハのアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。次に最上層のp型コンタクト層7の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3の表面が露出するまでエッチングする。エッチング後、n型コンタクト層3の表面にTiとAlよりなる負電極8、第一のp型コンタクト層71の表面にNiとAuよりなる正電極9を形成する。電極形成後、ウェーハを350μm角のチップに分離した後、LED素子とした。このLED素子はIf20mAで、Vf3.1V、発光ピーク波長450nm、半値幅70nmの青色発光を示し、発光出力は3mWであった。

【0036】【実施例2】実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を500オングストロームとする他は同様にして発光素子を得たところ、If20mAにおいて、Vf3.2V、発光出力はほぼ同一であった。

【0037】【実施例3】実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を0.1μmとする他は同様にして発光素子を得たところ、If20mAにおいて、Vfが3.3V、発光出力2.9mWであった。

【0038】【実施例4】実施例1において第一のp型コンタクト層71の膜厚を0.3μmとする他は同様にして発光素子を得たところ、If20mAにおいてVfは3.7Vとなり、発光出力は2.8mWであった。

【0039】【実施例5】実施例1において、第二のp型コンタクト層72のMg濃度を5×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup>とし、第一のp型コンタクト層71のMg濃度を1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>とする他は、同様にしてLED素子を得たところ、実施例1とはほぼ同一の特性を示した。

【0040】【実施例6】図3は実施例5に係る発光素子の構造を示す模式的な断面図である。この発光素子が図1の発光素子と異なるところは、n型クラッド層4と活性層5との間に新たなバッファ層としてInを含むn型の窒化物半導体よりなる第二のn型クラッド層40を形成しているところである。この第二のクラッド層40は10オングストローム以上、0.1μm以下の膜厚で形成することが望ましく、さらに第二のn型クラッド層40と活性層5の膜厚を300オングストローム以上にすると、Inを含む第一のn型クラッド層40とInを含む活性層5とがバッファ層として作用し、n型クラッド層4、p型クラッド層6にクラックが入らず結晶性良く成長できる。さらに、この第二のn型クラッド層40を成長させることにより、不純物をドープしない量子構造の活性層が実現でき、半値幅が狭く、出力の高い発光を得ることができる。なおこの第二のn型クラッド層40はGa<sub>0.3</sub>Nでもよい。

【0041】この第二のn型クラッド層40は、活性層5とAlとGaとを含むn型クラッド層4との間のバッファ層として作用する。つまりInとGaとを含む第二のn型クラッド層40が結晶の性質として柔らかい性質を有しているので、AlとGaとを含むn型クラッド層4と活性層5との格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる歪を吸収する働きがある。従って活性層を単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造として、活性層を構成する窒化物半導体層の膜厚を薄くしても、活性層5、n型クラッド層4にクラックが入らないので、活性層が弾性的に変形し、活性層の結晶欠陥が少なくなる。つまり活性層を量子井戸構造としたことにより、活性層の結晶性が良くなるので発光出力が増大する。さらに、活性層を量子井戸構造とすると、量子効果および励起子効果により発光出力が増大する。言い換えると、従来の



発光素子では活性層の膜厚を例えば1000オングストローム以上と厚くすることにより、クラッド層、活性層にクラックが入るのを防止していた。しかしながら活性層には常に熱膨張係数差、格子不整による歪が係っており、従来の発光素子では活性層の厚さが弾性的に変形可能な臨界膜厚を超えているので、弾性的に変形することができず、活性層中に多数の結晶欠陥を生じ、バンド間発光ではあまり光らない。この第二のn型クラッド層40を形成することにより、活性層が量子構造の状態において、発光素子の発光出力を飛躍的に向上させることが可能である。

【0042】具体的には、実施例1においてn型クラッド層4を成長させた後、温度を800℃に下げ、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、NH<sub>3</sub>、シランガスを用い、Siドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる第二のn型クラッド層40を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0043】続いてTMG、TMI、NH<sub>3</sub>を用い800℃でノンドープn型In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる活性層5を80オングストロームの膜厚で成長させる。後は実施例1と同様にして、p型クラッド層6、第二のp型コンタクト層72、第一のp型コンタクト層71を成長させてLED素子としたところ、このLED素子は、If 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長400nmの青色発光を示し、発光出力は12mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0044】【実施例7】実施例6において、活性層5の組成をノンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームと、ノンドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を26回繰り返し、最後に井戸層を積層して総厚約2000オングストロームの活性層6を\*

\*成長させた。後は実施例6と同様にして、LED素子としたところ、このLED素子も、If 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長400nmの青色発光を示し、発光出力は12mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の発光素子はダブルヘテロ構造の発光素子において、正電極を形成するp型層を高アクセプター不純物濃度の第一のp型層と、低不純物濃度の第二のp型層とすることにより、Vfを低下させることができるので発光効率が向上する。従ってLEDを大量に用いた大型ディスプレイ、屋外広告板等を実現した際には消費電力の少ないデバイスを実現でき、その産業上の利用価値は大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

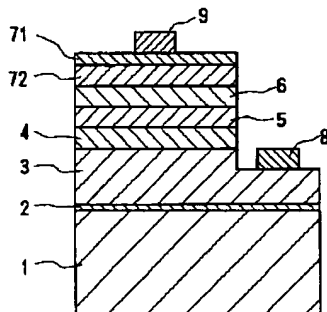
【図2】 従来の発光素子の構造を示す模式断面図。

【図3】 本発明の他の実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

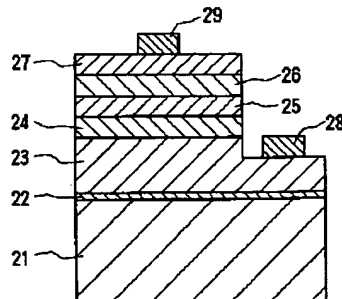
【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・p型クラッド層
- 72・・・第二のp型コンタクト層
- 71・・・第一のp型コンタクト層
- 8・・・負電極
- 9・・・正電極

【図1】



【図2】



【図3】

